Техническая диагностика
2001. №2

УДК 681.518.5

© 2001 г. **А.М. Абдулаев**,
Чье Ен Ун, д-р техн. наук,
С.В. Шалобанов, д-р техн. наук
(Хабаровский государственный технический университет)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрен вопрос влияния чувствительности высокого порядка в линейных непрерывных системах применительно к задаче поиска кратных структурных дефектов. Приведен анализ погрешности диагностирования при использовании модели чувствительности первого порядка. Результаты исследований – в аналитическом и графическом виде.

Введение

В существующих методах диагностирования линейных непрерывных систем [1] остается открытым вопрос о возможном эффекте использования чувствительности высокого порядка в процессе поиска кратных дефектов. В настоящей работе проведено исследование данного вопроса.

Метод определения погрешности диагностирования

Рассматривая в качестве параметров передаточные функции динамических звеньев системы автоматического управления (САУ), будем использовать разложение в ряд Тейлора передаточных функций выходов системы. В отличие от [1] не будем ограничиваться лишь первыми членами разложения и получим:

$$W_k(j\omega) = W_k^0(j\omega) + \sum_e \sum_n \frac{\partial^n W_k(j\omega)}{\partial^n W_e(j\omega)} \cdot \left(\Delta W_e(j\omega)\right)^n , \qquad (1)$$

где ω – частота; $W_k(j\omega)$ – передаточная функция диагностической модели в контрольной точке; $W^0{}_k(j\omega)$ – передаточная функция системы при номинальных значениях параметров; $\Delta W_e(j\omega)$ – отклонение передаточной функции динамического звена.

На основе разложения (1) запишем отклонение ε_k наблюдаемого значения передаточной функции в точке k:

$$\varepsilon_k = W_k(j\omega) - W_k^0(j\omega) = \sum_e \sum_n \frac{\partial^n W_k(j\omega)}{\partial^n W_e(j\omega)} \cdot \left(\Delta W_e(j\omega)\right)^n . \tag{2}$$

Задача проводимого исследования состоит в определении и анализе поправочной величины $\alpha_e(j\omega)$, которая определяет вклад высших производных для каждого из параметров в выражении (2). Исходя из этого, запишем:

$$\varepsilon_k = \sum_e \frac{\partial W_k(j\omega)}{\partial W_e(j\omega)} \cdot \Delta W_e(j\omega) \cdot \left(1 + \alpha_e(j\omega)\right). \tag{3}$$

Величина $\alpha_e(j\omega)$ характеризует относительную погрешность диагностирования при использовании модели чувствительности первого порядка.

В ходе проведенных исследований в области поставленной задачи были выявлены математические зависимости и даны вспомогательные утверждения, позволяющие сформулировать теорему о чувствительности высшего порядка линейной непрерывной САУ. Ввиду ограниченного объема она дается без доказательства.

<u>Теорема.</u> Частная производная порядка n, $\forall$ n>1 передаточной функции линейной непрерывной САУ, взятая по динамическому звену этой системы, прямо пропорциональна частной производной первого порядка по этому же звену системы и определяется выражением

$$\frac{\partial^n W(j\omega)}{\partial^n W_e(j\omega)} = (-1)^{n+1} \cdot n! \left(\Omega_e(j\omega)\right)^{n-1} \cdot \frac{\partial W(j\omega)}{\partial W_e(j\omega)}, \tag{4}$$

где $\Omega_e(j\omega)$ – передача от выхода динамического звена к его входу.

Подставляя (4) в (2) и преобразуя к виду (3), получим аналитическое выражение для величины $\alpha_e(j\omega)$:

$$\alpha_e(j\omega) = \sum_{n=2} (-1)^{n+1} \cdot n! \left(\Omega_e(j\omega) \cdot \Delta W_e(j\omega)\right)^{n-1}. \tag{5}$$

Из выражения (5) следует, что в отношении звеньев САУ, не входящих ни в один контур, допустимо проводить диагностирование, используя модель чувствительности первого порядка, без предварительной оценки влияния чувствительности высших порядков, поскольку в этом случае $\Omega_e(j\omega)=0$.

Результаты изучения данного вопроса позволяют оценить возможность выявления структурного дефекта в зависимости от топологических свойств САУ и значений ее звеньев, а также уточнить процесс вычисления структурных отклонений.

Экспериментальная оценка влияния высших производных

В качестве объекта, в отношении которого проводится эксперимент, выбрана САУ, изображенная на рис.1.

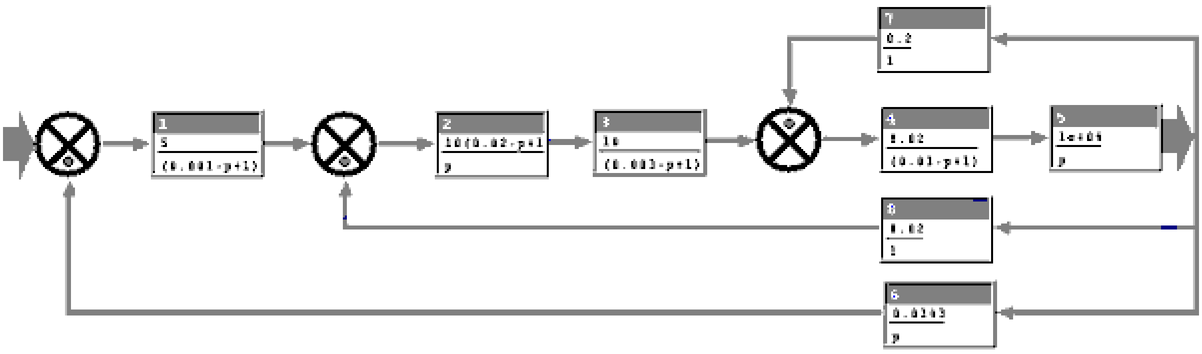


Рис. 1. Структурная схема САУ.

Проведем оценку влияния высших производных на точность вычисления дефекта в звеньях № 1, 4, 6, 8. Для этого приведем вещественные и мнимые характеристики величины $\alpha_e(j\omega)$, исходя из заданных номинальных значений передаточных функций звеньев для e=1, 4, 6, 8:

$$W_1^0(j\omega) = \frac{5}{0.001 \cdot j\omega + 1}, \quad W_4^0(j\omega) = \frac{0.02}{0.01 \cdot j\omega + 1},$$

$$W_6^0(j\omega) = \frac{0.143}{j\omega}, \quad W_8^0(j\omega) = 0.02,$$

а также при 10% отклонениях их параметров:

$$W_1\,(j\omega) = \frac{5.5}{0.0011 \cdot j\omega + 1}, \quad W_4\,(j\omega) = \frac{0.022}{0.011 \cdot j\omega + 1},$$

$$W_6\,(j\omega) = \frac{0.157}{j\omega + 1}, \quad W_8\,(j\omega) = 0.022\,.$$

Расчет передачи обратной связи для звеньев № 1, 4, 6, 8 выполнен с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) линейных динамических систем автоматического управления [2]:

$$\Omega_1\,(j\omega) = \frac{-\,0.00572 \cdot (j\omega)^2 - 6.006 \cdot j\omega - 286}{\Delta(j\omega)},$$

$$\Omega_4(j\omega) = \frac{-\,0.00006 \cdot (j\omega)^5 - 0.09 \cdot (j\omega)^4 - 32.6 \cdot (j\omega)^3}{\Delta(j\omega)} +$$

$$+ \frac{-\,2634 \cdot (j\omega)^2 - 22140 \cdot j\omega - 71500}{\Delta(j\omega)}$$

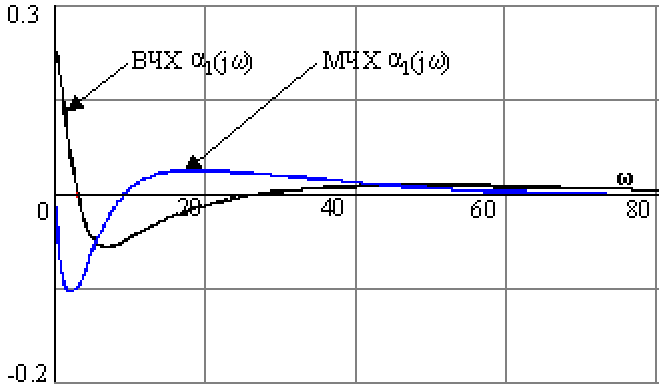
$$\Omega_6(j\omega) = \frac{-\,2000 \cdot (j\omega)^2 - 100000 \cdot j\omega}{\Delta(j\omega)},$$

$$\Omega_8(j\omega) = \frac{-\,0.4 \cdot (j\omega)^3 - 420 \cdot (j\omega)^2 - 20000 \cdot j\omega}{\Delta(j\omega)},$$

где используется следующее обозначение:

$$\Delta(j\omega)=[3e-8]\cdot(j\omega)^6+[4.3e-5]\cdot(j\omega)^5+0.01412\cdot(j\omega)^4+$$
$$+1.168\cdot(j\omega)^3+48.4\cdot(j\omega)^2+428.6p+1430.$$

На основе выражения (5) получены вещественные частотные (ВЧХ) и мнимые частотные характеристики (МЧХ) величины $\alpha_e(j\omega)$ в диапазоне частот от 0 до 100 Гц с использованием среды MATHCAD. С целью погашения помех, связанных с погрешностями вычислений, расчет произведен при n=7, результаты которого для рассматриваемых звеньев САУ показаны на рис. 2-4.



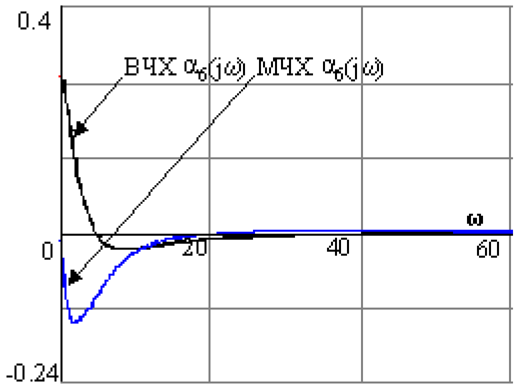


Рис. 2. ВЧХ и МЧХ для звеньев № 1 и № 6.

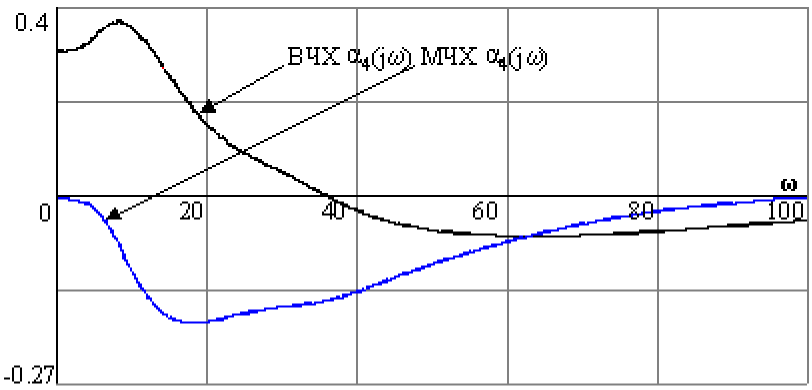


Рис. 3. ВЧХ и МЧХ для звена № 4.

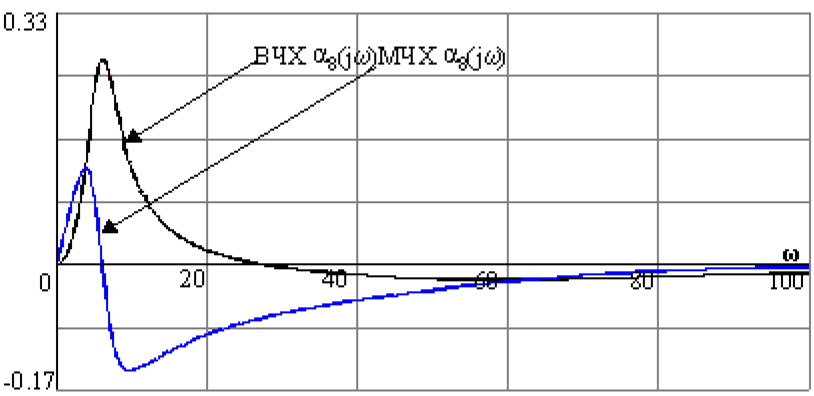


Рис. 4. ВЧХ и МЧХ для звена № 8.

Характеристики, изображенные на рисунках, отражают величину погрешности диагностирования при использовании модели чувствительности первого порядка в рассматриваемой САУ для заданных максимальных отклонений параметров ее звеньев. По характеристикам видно, что при заданных отклонениях влияние высших производных наиболее высоко в отношении звена № 8 и в особенности – № 4. Для более глубокого анализа погрешности необходимо рассматривать динамику изменения характеристики $\alpha_e(j\omega)$ в разрезе различных отклонений параметров, т.к. любая, на первый взгляд допустимая характеристика $\alpha_e(j\omega)$, может находиться на грани «всплеска» при малейшем увеличении отклонения какого-либо параметра звена. Это особенно заметно в отношении звена № 4, т.к. характеристика $\alpha_4(j\omega)$ (см. рис. 3) уже при 10% отклонениях его параметров принимает искаженный вид.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М.* Чувствительность систем управления. М.: Наука, 1981.
2. *Абдулаев А.М.* Анализ топологии и расчет частотных характеристик систем автоматического регулирования сложной структуры на персональном компьютере // Second International Students Congress of the Asia-Pacific Region Countries. Abstracts. Vladivostok, 1997. P.141-142.

УДК 681.518.5

© 2001 г. **В.В. Бобышев**,
Чье Ен Ун, д-р техн. наук,
С.В. Шалобанов, д-р техн. наук
(Хабаровский государственный технический университет)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

В статье рассмотрены алгоритмы поиска одиночных структурных и параметрических дефектов в цифровых системах. Рассмотрены методы анализа диагностической модели САУ и приведены результаты исследования разработанных алгоритмов.

Введение

В [1,2] предложены методы диагностирования непрерывных САУ с использованием функций структурной и параметрической чувствительно-